

学校编码：10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号：B200025029

UDC \_\_\_\_\_

## 学 位 论 文

# 不同聚集态 Pt 纳米粒子的合成、表面组装 及其电化学和特殊红外性能研究

Preparation , surface assembly of Pt nanoparticles with  
different agglomeration states and investigation of their  
electrochemical and particular IR properties

陈 卫

指导教师姓名：孙世刚 教授

申请学位级别：博 士

专 业 名 称：物理化学

论文提交日期：2003.12

论文答辩时间：2003.12

学位授予单位：厦 门 大 学

学位授予日期：

答辩委员会主席：江志裕 教授

评 阅 人：江志裕、陆君涛、陆天虹、郑兰荪、蔡志平

2003 年 12 月

# 目 录

|  |    |
|--|----|
| 中文摘要.....                                  |    |
| 英文摘要.....                                  |    |
| <br>                                       |    |
| 第一章 绪论.....                                | 1  |
| § 1.1 纳米材料及其特殊性能.....                      | 2  |
| § 1.1.1 纳米材料的基本概念.....                     | 2  |
| § 1.1.2 纳米材料的发展概况.....                     | 2  |
| § 1.1.3 纳米材料的特殊性能.....                     | 4  |
| § 1.2 纳米材料科学中的谱学研究进展.....                  | 7  |
| § 1.2.1 紫外-可见(UV-Vis)光谱.....               | 8  |
| § 1.2.2 红外(IR)光谱.....                      | 10 |
| § 1.2.3 拉曼(Raman)光谱.....                   | 12 |
| § 1.2.4 穆斯堡尔(Mossbauer)谱.....              | 13 |
| § 1.2.5 正电子湮没(Positron annihilation)谱..... | 14 |
| § 1.2.6 光声(Photoacoustic)光谱.....           | 15 |
| § 1.3 过渡金属纳米粒子的制备.....                     | 16 |
| § 1.3.1 过渡金属纳米胶体颗粒的稳定.....                 | 17 |
| § 1.3.2 液相中金属纳米粒子的制备.....                  | 19 |
| § 1.3.2.1 金属盐的化学还原法.....                   | 19 |
| § 1.3.2.2 热 ,光化学和声化学分解法.....               | 22 |
| § 1.3.2.3 有机金属配合物的配体置换法.....               | 24 |
| § 1.3.2.4 电化学还原法.....                      | 24 |
| § 1.4 谱学电化学研究.....                         | 25 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| § 1.4.1 谱学电化学发展概述.....             | 25        |
| § 1.4.2 电化学原位红外反射光谱.....           | 27        |
| § 1.4.2.1 红外光谱在固/液界面电化学体系中的实现..... | 27        |
| § 1.4.2.2 CO 为分子探针的原位红外光谱研究.....   | 29        |
| § 1.5 本论文的研究目的与设想.....             | 31        |
| 参考文献.....                          | 34        |
| <br>                               |           |
| <b>第二章 实验</b> .....                | <b>52</b> |
| § 2.1 试剂.....                      | 52        |
| § 2.2 电化学体系.....                   | 52        |
| § 2.2.1 电极.....                    | 52        |
| § 2.2.2 电化学实验.....                 | 53        |
| § 2.3 电化学原位 FTIR 反射光谱实验.....       | 53        |
| § 2.3.1 红外反射电解池.....               | 53        |
| § 2.3.2 红外透射气体池.....               | 53        |
| § 2.3.3 红外光谱仪.....                 | 55        |
| § 2.3.4 原位 FTIR 反射光谱.....          | 55        |
| § 2.4 透射电子显微镜(TEM).....            | 57        |
| §2.4.1 工作原理.....                   | 57        |
| §2.4.2 TEM 仪器.....                 | 58        |
| § 2.5 扫描电子显微镜(SEM).....            | 59        |
| §2.5.1 性能及基本原理.....                | 59        |
| §2.5.2 SEM 仪器.....                 | 59        |
| § 2.6 紫外可见光谱实验.....                | 60        |
| § 2.7 X-射线粉末衍射(XRD).....           | 60        |
| § 2.8 X 射线光电子能谱测量(XPS).....        | 60        |
| 参考文献.....                          | 61        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>第三章 Pt 金属纳米粒子的合成及其电化学和红外性能</b>   | <b>62</b>  |
| § 3.1 Pt 纳米粒子合成   | 63         |
| § 3.1.1 Pt 纳米粒子制备   | 63         |
| § 3.1.2 Pt 纳米粒子形成过程的紫外 - 可见光谱研究   | 63         |
| § 3.1.3 Pt 纳米粒子形成过程的 TEM 表征   | 67         |
| § 3.2 Pt 纳米粒子电极的制备及其循环伏安特性  | 73         |
| § 3.2.1 Pt 纳米粒子电极的制备  | 73         |
| § 3.2.2 电化学循环伏安 (CV) 研究   | 73         |
| § 3.3 Pt 纳米粒子电极的电化学原位 FTIR 反射光谱研究   | 77         |
| 本章小结  | 85         |
| 参考文献  | 86         |
| <b>第四章 Pt 金属纳米粒子自组装及其电化学和红外性能</b>   | <b>89</b>  |
| § 4.1 Pt 纳米粒子自组装过程的电化学循环伏安表征  | 91         |
| § 4.2 Pt 纳米粒子自组装过程的表面形貌研究   | 97         |
| § 4.3 Pt 纳米粒子自组装膜的 XPS 研究   | 103        |
| § 4.4 Pt 纳米粒子自组装膜的原位 FTIR 反射光谱研究  | 107        |
| § 4.4.1 CO 在 Au/SS-Pt <sub>n</sub> 组装电极上氧化的 CV 研究                                   | 107        |
| § 4.4.2 CO 在 Au/SS-Pt <sub>n</sub> 组装电极上 SNIFTIRS 研究结果                              | 109        |
| § 4.4.3 Au/SS-Pt <sub>n</sub> 组装电极上 CO 吸附的 MSFTIRS 研究结果                             | 111        |
| 本章小结  | 114        |
| 参考文献  | 115        |
| <b>第五章 Pt 纳米粒子聚集状态及其特殊红外性能</b>  | <b>121</b> |
| § 5.1 分散态和团聚态 Pt 纳米粒子制备和表征  | 124        |
| § 5.2 CO 在 Pt <sub>n</sub> /GC 和 Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> /GC 电极上的吸附和氧化的 CV 表征 | 133        |
| § 5.3 Pt <sub>n</sub> /GC 和 Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> /GC 在固/液界面的红外性能研究         | 137        |
| § 5.3.1 SPAFTIRS 研究结果   | 137        |

|  |     |
|--|-----|
| § 5.3.2 MS-FTIRS研究结果.....  | 144 |
| § 5.4 $\text{Pt}_n/\text{GC}$ 和 $\text{Pt}_n^{\text{ag}}/\text{GC}$ 在固/气界面的红外性能研究..... | 152 |
| § 5.5 $\text{Pt}_n$ 和 $\text{Pt}_n^{\text{ag}}$ 原位透射红外光谱研究.....                        | 161 |
| 本章小结.....  | 170 |
| 参考文献.....  | 172 |
| <br>第六章 团聚铂纳米粒子在甲醇氧化中的电催化特性.....   | 179 |
| § 6.1 $\text{Pt}_n/\text{GC}$ 电极对甲醇氧化的电催化特性.....                                       | 181 |
| § 6.2 原位 FTIR 反射光谱研究结果.....  | 188 |
| 本章小结.....  | 197 |
| 参考文献.....  | 198 |
| <br>结 论.....   | 201 |
| <br>作者攻读博士学位期间发表与交流的论文.....  | 205 |
| <br>致 谢.....   | 208 |

## Table of Contents

|  |    |
|--|----|
| <b>Abstract in Chinese</b> .....                                     |    |
| <b>Abstract in English</b> .....                                     |    |
| <b>Chapter 1 Introduction</b> .....                                  | 1  |
| § 1.1 Nanometer materials and their particular properties.....       | 2  |
| § 1.1.1 Conception of nanometer material.....                        | 2  |
| § 1.1.2 Development of nanometer material.....                       | 2  |
| § 1.1.3 Particular properties of nanometer material.....             | 4  |
| § 1.2 Spectral analysis in nanometer material science.....           | 7  |
| § 1.2.1 UV-visible spectroscopy.....                                 | 8  |
| § 1.2.2 IR spectroscopy.....   | 10 |
| § 1.2.3 Raman spectroscopy.....                                      | 12 |
| § 1.2.4 Mossbauer spectroscopy.....                                  | 13 |
| § 1.2.5 Positron annihilation spectroscopy.....                      | 14 |
| § 1.2.6 photoacoustic spectroscopy.....                              | 15 |
| § 1.3 Preparation of transition metal nanoparticles.....             | 16 |
| § 1.3.1 Stabilization of transition metal colloids.....              | 17 |
| § 1.3.2 Preparation of metal nanoparticles in liquid media.....      | 19 |
| § 1.3.2.1 Chemical reduction of metal salts.....                     | 19 |
| § 1.3.2.2 Thermal photochemical and sonochemical decomposition.....  | 22 |
| § 1.3.2.3 Displacement of ligands from organometallic compounds..... | 24 |
| § 1.3.2.4 Reduction by electrochemical methods.....                  | 24 |
| § 1.4 Spectroelectrochemistry.....                                   | 25 |
| § 1.4.1 Summary of spectroelectrochemical development.....           | 25 |

|   |               |
|---|---------------|
| § 1.4.2 Electrochemical in situ IR reflection spectroscopy.....                         | 27            |
| § 1.4.2.1 Realization of IR spectroscopy at solid/liquid interface.....                 | 27            |
| § 1.4.2.2 Investigation of in situ FTIR spectroscopy with CO as<br>molecular-probe..... | 29            |
| <b>§ 1.5 The objectives and plans of this dissertation.....</b>                         | <b>31</b>     |
| <b>References.....</b>  | <b>34</b>     |
| <br><b>Chapter 2 Experimental.....</b>  | <br><b>52</b> |
| § 2.1 Reagent.....  | 52            |
| § 2.2 Electrochemical system.....   | 52            |
| § 2.2.1 Electrodes.....   | 52            |
| § 2.2.2 Electrochemical experiments.....  | 53            |
| § 2.3 Electrochemical in situ FTIR reflection spectroscopy.....                         | 53            |
| § 2.3.1 In situ FTIR cell.....  | 53            |
| § 2.3.2 Transmission IR cell.....   | 53            |
| § 2.3.3 FTIR apparatus.....   | 55            |
| § 2.4 Transmission electron microscopy (TEM) .....                                      | 57            |
| § 2.4.1 Principle of TEM.....   | 57            |
| § 2.4.2 TEM apparatus .....   | 58            |
| § 2.5 Scanning electron microscopy (SEM) .....  | 59            |
| § 2.5.1 Function and principle of SEM.....  | 59            |
| § 2.5.2 SEM apparatus .....   | 59            |
| § 2.6 UV-Visible spectral experiment.....   | 60            |
| § 2.7 X-ray powder diffraction (XRD).....   | 60            |
| § 2.8 X-ray photoelectron spectroscopy.....   | 60            |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>References.....</b> | <b>61</b> |
|------------------------|-----------|

## **Chapter 3 Preparation of Pt nanoparticles and their electrochemical and IR properties.....62**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>§ 3.1 Preparation of Pt nanoparticles.....</b>   | <b>63</b> |
| § 3.1.1 Synthesis of Pt nanoparticles.....  | 63        |
| § 3.1.2 UV-visible spectroscopic study of colloids during the formation of Pt nanoparticles.....              | 63        |
| § 3.1.3 TEM characterization of Pt nanoparticles during their formation.....                                  | 67        |
| <b>§ 3.2 Preparation of Pt nanoparticulate electrodes and their cyclic voltammetric characterization.....</b> | <b>73</b> |
| § 3.2.1 Preparation of nanoparticulate electrodes.....  | 73        |
| § 3.2.2 Cyclic voltammetric study.....  | 73        |
| <b>§ 3.3 Electrochemical in situ FTIR reflection spectroscopy study of Pt nanoparticulate electrodes.....</b> | <b>77</b> |
| <b>Summary.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>Reference.....</b>   | <b>86</b> |

## **Chapter 4 Self-assembly of Pt nanoparticles and their electrochemical and IR properties.....89**

|   |            |
|---|------------|
| <b>§ 4.1 Cyclic voltammetric characterization for process of self-assembly.....</b>     | <b>91</b>  |
| <b>§ 4.2 Surface morphology study of the self-assembled electrode.....</b>              | <b>97</b>  |
| <b>§ 4.3 XPS characterization of the self-assembled film.....</b>                       | <b>103</b> |
| <b>§ 4.4 In situ FTIR reflection spectroscopy study of the self-assembled film.....</b> | <b>107</b> |



|   |            |
|---|------------|
| § 4.4.1 Cyclic voltammetric study of CO adsorbed on the self-assembled electrode..... | 107        |
| § 4.4.2 SNIFTIRS study of CO adsorbed on the self-assembled electrode...              | 109        |
| § 4.4.3 MSFTIRS study of CO adsorbed on the self-assembled electrode...               | 111        |
| <b>Summary.....</b>   | <b>114</b> |
| <b>References.....</b>  | <b>115</b> |

## **Chapter 5 Agglomeration states of Pt nanoparticles and their particular IR properties.....121**

|  |            |
|--|------------|
| § 5.1 Preparation and characterization of dispersed and agglomerated Pt nanoparticles.....   | 124        |
| § 5.2 Cyclic voltammetric characterization of CO <sub>ad</sub> oxidation on Pt <sub>n</sub> /GC and Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> /GC..... | 133        |
| § 5.3 In situ FTIR study of Pt <sub>n</sub> /GC and Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> /GC at solid/liquid interface..                          | 137        |
| § 5.3.1 Results of SPAFTIRS.....   | 137        |
| § 5.3.2 Results of MS-FTIRS.....   | 144        |
| § 5.4 In situ FTIR study of Pt <sub>n</sub> /GC and Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> /GC at solid/gas interface.....                          | 152        |
| § 5.5 Transmission IR spectroscopy study of Pt <sub>n</sub> and Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> .....  | 161        |
| <b>Summary.....</b>  | <b>170</b> |
| <b>References.....</b>   | <b>172</b> |

## **Chapter 6 Electrocatalytic properties of agglomerates of Pt nanoparticles in methanol oxidation.....179**

|   |     |
|---|-----|
| § 6.1 Electrocatalytic properties of Pt <sub>n</sub> <sup>ag</sup> /GC in methanol oxidation..... | 181 |
|---|-----|

|  |         |
|--|---------|
| <b>§ 6.2 Results of in situ FTIR reflection spectroscopy</b> ..... | 188     |
| <b>Summary</b> .....   | 197     |
| <b>References</b> .....  | 198     |
| <br><b>Conclusion</b> .....  | <br>201 |
| <b>Publications list during Ph. D. study</b> .....                 | 205     |
| <b>Acknowledgements</b> .....                                      | 208     |

## 摘要

纳米材料具有许多不同于常规材料的特殊性质，引起了材料、化学、物理、生物、工程等众多学科的广泛兴趣，是纳米科技的核心问题。铂族金属由于催化活性高、性能稳定而被作为电催化剂广泛应用于能源转换、绿色合成等重要领域。研制纳米尺度的金属材料电催化剂是电催化的热点课题之一。

本论文以化学法合成金属 Pt 纳米粒子( $Pt_n$ )。UV-vis 光谱和 TEM 研究表明， $Pt_n$  主要是在加热回流的开始阶段形成。利用双硫醇把合成的  $Pt_n$  组装到金基底上，用  $Fe(CN)_6^{4-/3-}$  氧化还原电对作探针反应研究了组装过程中电子传导能力，结果表明，二硫醇单层膜阻碍 Au 基底与  $Fe(CN)_6^{4-/3-}$  之间的异相电子传递，但进一步组装  $Pt_n$  后，由于量子隧穿效应使得电子的传递能力提高。分别用 AFM 和 XPS 对组装体系的表面形貌和组成进行了分析。原位 FTIRS 和 CV 结果显示，与本体 Pt 相比，吸附于  $Pt_n$  上的 CO 有显著的增强红外吸收。同时，由于表面效应和小尺寸效应，CO 在  $Pt_n$  上的氧化电位较高，呈现出较多的吸附状态。

本文首次发现，无论在固/液或固/气界面，处于离散状态的 Pt 纳米粒子表现出增强红外吸收，而团聚的 Pt 纳米粒子则具有异常红外效应。本文还首次运用透射红外光谱对不同聚集状态 Pt 纳米粒子的红外性能进行了研究。结果表明，随着 Pt 纳米粒子从分散态到不同程度的聚集态，吸附 CO 分子的红外吸收特征给出从增强红外吸收到 Fano 类型光谱再到异常红外效应的转化。进一步证明异常红外效应是纳米材料所固有的普遍现象并与纳米材料的尺寸和聚集状态密切相关。研究还发现团聚态的 Pt 纳米粒子对甲醇氧化具有较好电催化特性。

本论文研究结果对于深入认识金属纳米粒子性能以及探索异常红外效应产生的根源等具有重要意义，同时对研制直接燃料电池电催化剂有应用价值。

关键词：Pt 纳米粒子；表面组装；原位红外光谱

## Abstract

As a new rising discipline, nanomaterial has attracted multidisciplinary interests from material science, chemistry, physics, biology and engineering, etc. because of their unusual properties that could not possessed by corresponding bulk materials. Nanomaterial is the core subject of nano- science and technology. Platinum group metals are widely used in energy conversion and green synthesis duo to their high electrocatalytic activity and stability. The research and preparation of metal electrocatalyst at nanometer scale is one of the key subjects in electrocatalysis.

In this paper, Pt nanoparticles ( $Pt_n$ ) were prepared by chemical reduction method. The results of UV-vis and TEM showed that  $Pt_n$  are formed mainly at the initial stage of refluxing. The prepared Pt nanoparticles were then self-assembled on Au substrate using dithiol as cross-linkers. The ability of electronic transfer during the self-assembly of dithiol and  $Pt_n$  was studied in the presence of redox active probe  $Fe(CN)_6^{4-/3-}$  couple. The result indicates that the dithiol monolayer serves as a large barrier for the electron transfer. The redox current is increased significantly when Pt nanoparticles are self-assembled on the top of the dithiol monolayer assembly electrode. The surface morphology and composition of assembly electrode were analyzed by AFM and XPS. In situ FTIRS results illustrated that CO adsorbed on  $Pt_n$  exhibit enhanced IR absorption, and exhibited more adsorption states in comparison with  $CO_{ad}$  on bulk platinum. Electrochemical CV results illustrated that  $CO_{ad}$  oxidized at higher potential because of the surface structural effect and nano-size effect of Pt nanoparticles.

In this paper, for the first time, we have revealed that dispersed Pt nanoparticles for CO adsorption display enhanced IR absorption at either solid | electrolyte or solid | gas interface. However abnormal infrared effects (AIREs) was observed for

CO adsorbed on agglomerates of Pt nanoparticles. In order to investigate the origin of the AIREs of nanomaterials, transmission IR spectroscopy was applied to study CO adsorption on Pt nanoparticles with different agglomeration states. The results illustrated that along with the increase of the degree of agglomeration of Pt nanoparticles, the IR spectral patterns of CO adsorbates were transformed from enhanced IR absorption bands to Fano-like spectral line shapes, and further to abnormal anti-absorption IR features. It was demonstrated that the AIREs is a general phenomena of nanomaterials and it is closely related to the size and agglomeration state of nanomaterials. The agglomerates of Pt nanoparticles have also been found to exhibit significant electrocatalytic activity for the oxidation of methanol.

The investigation in the current paper has contributed to understand deeply the nature of the metal nanomaterials, and is of significant importance in understanding the origin of special optical properties of nanometer materials.

Key words: Pt nanoparticles; self-assembly; in situ FTIRS

## 第一章 绪 论

随着科学技术的不断发展，各学科之间的联系日益密切，各种交叉学科和边缘学科随之产生。物理化学，特别是电化学作为一门传统的化学学科分支，经过 200 多年的发展，各种理论不断丰富和发展，同时也为研究各种材料的性质提供了有力的工具。近年来，随着纳米科学的兴起，人们逐渐认识到了纳米材料的一些特殊性质，对纳米科技在未来的地位给予了充分地肯定。对纳米材料特性的研究及其应用已渗透到各学科领域中。目前纳米科技主要包括纳米生物学、纳米机械学、纳米电子学、纳米化学、纳米材料学以及原子、分子操纵和纳米微加工等。其中纳米材料是当前纳米科技的一个重要研究领域。由于纳米材料在光吸收、催化、电磁性能方面表现出许多新奇、特殊的物理化学性质，科学家们预言纳米材料将是 21 世纪的材料，将是材料的一次革命。纳米材料研究是目前材料科学研究的一个热点。纳米材料的制备是纳米技术中最基本也是最重要的内容之一。纳米电子学、纳米生物学等领域的发展要求各种电子器件及生物器件的尺寸微小化，集成度越来越高，元、器件的尺寸将最终发展到纳米尺度。一些传统的物理方法将不能满足纳米器件发展的要求，因此纳米体系的自组装技术必将在未来的纳米器件发展中占有重要的地位。纳米材料的特殊性质与其微观结构有着密切的关系，对纳米材料的微结构的研究对了解纳米材料的特性及其应用十分重要。因此，对纳米材料的结构和性能表征是纳米科技最重要的研究课题之一。在众多的表征手段中，谱学方法独树一帜，通过各种谱学技术，不仅可以探知其微观结构的信息，还可以了解纳米材料的许多性质，特别是光学方面的性质。因此，联用电化学方法和谱学技术来研究不同大小和形态的金属纳米粒子及其组装体系对认识纳米材料的基本性质及其应用将具有重要的意义。本论文将利用电化学和谱学等方法研究 Pt 纳米粒子的一些特殊性能，希望能对金属纳米粒子的研究有所贡献。

## § 1.1 纳米材料及其特殊性能

### § 1.1.1 纳米材料的基本概念

纳米材料是指晶粒尺寸为纳米级( $10^{-9}$  米)的超细材料。它的微粒尺寸大于原子簇(尺寸小于 1 nm 的原子聚集体), 小于通常的微粒, 一般为 1 ~ 100nm, 处于原子簇和宏观物体之间的过渡区域。广义上, 在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围或由它们作为基本单元构成的材料都可称之为纳米材料。

如果按维数, 纳米材料可以分为四类:

( ) 零维纳米材料, 指空间三维尺度均处于纳米尺度, 如纳米粒子和原子团簇; ( ) 一维纳米材料, 指在三维空间有两维处于纳米尺度, 包括纳米线, 纳米棒和纳米管; ( ) 二维纳米材料, 指在三维空间有一维在纳米尺度, 如纳米薄膜, 纳米涂层和超晶格等; ( ) 三维纳米材料, 包括由基本纳米结构单元组成的结构晶体及大块材料等<sup>[1-4]</sup>。四种不同的类型的纳米结构示意图如图 1-1 所示。

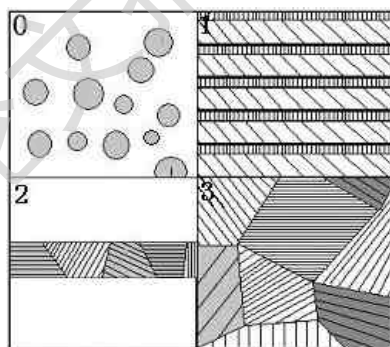


Fig.1-1 Structural schematic diagram of nanometer materials

### § 1.1.2 纳米材料的发展概况

纳米材料学是胶体化学、固体化学、配位化学、化学反应动力学、原子物理、凝聚态物理、以及表面、界面科学等学科交叉形成的新兴学科。到目前, 其发展大致可分为三个阶段: (1) 第一阶段——1990 年以前。早在 1861 年, 随着胶体化学的建立, 科学家就开始对直径为 1 ~ 100 nm 的粒子的体系进行研究。真正有意识地研究纳米粒子可追溯到 30 年代的日本, 当时为了

军事需要而开展了“沉烟试验”，但受到实验水平和条件限制，虽用真空蒸发法制成世界上第一批超微铅粉，但光吸收性能很不稳定。直到本世纪 60 年代人们才开始对分立的纳米粒子进行研究。1963 年，Uyeda 用气体蒸发冷凝法制得金属纳米粒子，对其形貌和晶体结构进行了电镜和电子衍射研究<sup>[5]</sup>。1984 年，德国的 H.Gleiter 等人将气体蒸发冷凝获得的纳米铁粒子<sup>[6]</sup>，在真空下原位压制成纳米固体材料，使纳米材料研究成为材料科学中的热点。在纳米材料的发展初级阶段，科学家们主要是在实验室中探索和寻找制备各种材料的纳米粒子及由纳米粒子压成的块体纳米材料的方法。同时探索表征纳米材料的方法和研究纳米材料的一些特殊性能。第二阶段——1990 ~ 1994 年。1990 年在美国巴尔的摩召开了国际首届纳米科学会议，正式把纳米材料科学作为材料科学一个新的分支。在第二阶段，人们把研究目标从纳米粒子开始转向更复杂的纳米体系。人们关注的热点是利用已发现的纳米粒子的奇异特性去设计许多纳米复合体系，包括纳米粒子与纳米粒子复合，纳米粒子与常规材料复合以及纳米薄膜复合，并研究这些纳米体系的性质。第三阶段开始于 1994 年。在这一阶段，纳米组装体系的设计和研究成为纳米材料研究的主要内容。正如 Richard Feynman 在 20 世纪 60 年代曾经预言的那样“如果有一天人们按照自己的意愿排列原子和分子，那将会产生怎样的奇迹？”<sup>[2]</sup>。人们开始根据需要按自己的意愿设计、组装新的纳米体系，以纳米颗粒以及纳米丝，纳米管为基本单元在一维、二维和三维空间组装具有纳米结构的体系。包括纳米阵列体系、纳米嵌镶体系、介孔与纳米颗粒复合体系和纳米颗粒膜等。对纳米阵列体系的研究为以后纳米器件的制作进行前期准备，对纳米器件的发展具有重要意义。介孔与纳米组装体系和颗粒膜也是当前纳米组装体系重要研究对象，主要设计思想是利用小颗粒的量子尺寸效应，根据需要对材料整体性能进行剪裁、调整和控制达到常规不具备的奇特性质，这方面的研究将成为世纪之交乃至下一个世纪引人注目的前沿领域。纳米颗粒与



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库